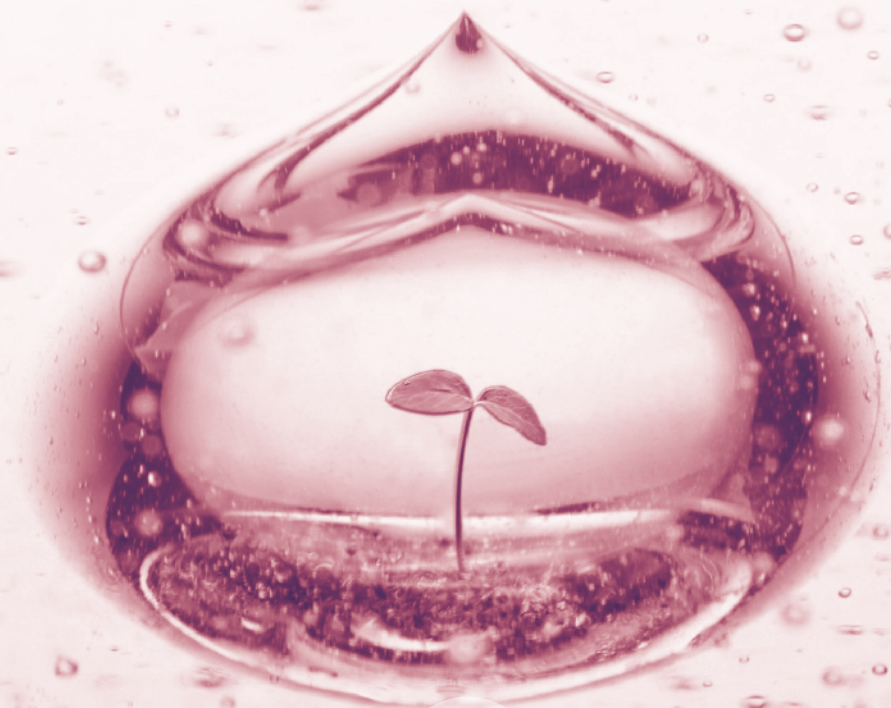


# FAPIG

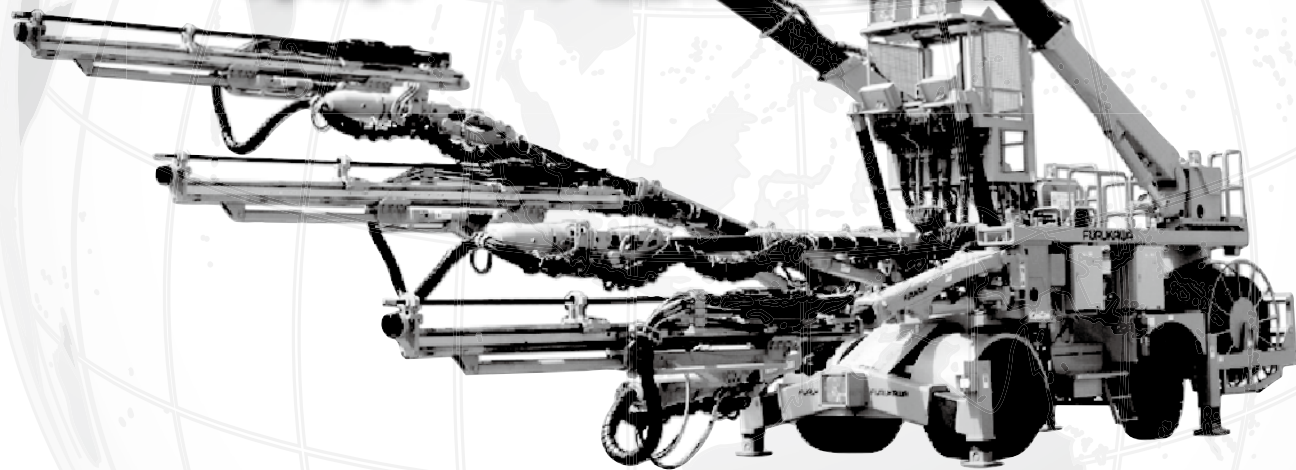
THE FIRST ATOMIC POWER INDUSTRY GROUP



2015  
FEBRUARY  
189



# 未来への確かな技術。



## FAPIG

THE FIRST ATOMIC POWER INDUSTRY GROUP

2015 - 2 / 平成 26 年度 第 2 号

No.189

目 次

■ 報 告

使用済み燃料プールにおける過酸化水素分解法の開発……………(3)

出水丈志 / 小松 誠 / 出口達也

■ 紹 介

緊急時放射線モニタリングシステムの開発……………(9)

福本圭佑 / 皆川智哉 / 前川 修

サウジアラビア MEMS プロジェクト

～海外ソリューションビジネスへの取組み～……………(14)

矢部典雄 / 白石直樹

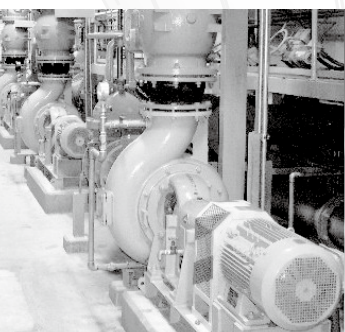
福島中間貯蔵施設における放射線モニタリング可視化へ向けた

LED シンチレーションファイバー検出器の開発 ……………(20)

中尾徳晶

FAPIG の機構 ……………(25)

表紙デザイン：中川 敏



### 機械事業

産業機械 ロックドリル  
ユニック



### 素材事業

金属 電子材料 化成品



## CONTENTS

■ Report	
Development of Decomposition Method of Hydrogen Peroxide in Spent Fuel Pool .....	( 3 )
T. Izumi / M. Komatsu / T. Deguchi	
■ Introduction	
Development of Emergency Radiation Monitoring System .....	( 9 )
K. Fukumoto / T. Minagawa / O. Maekawa	
MEMS Project in Saudi Arabia; Global Solution Business Initiative .....	(14)
N. Yabe / N. Shiraishi	
Development of a Scintillation Fiber Detector Coupled with LED for Visible Radiation Monitoring at the Interim Storage Facility in Fukushima .....	(20)
N. Nakao	
Cover Design : Satoshi Nakagawa	

# 使用済み燃料プールにおける過酸化水素分解法の開発

## Development of Decomposition Method of Hydrogen Peroxide in Spent Fuel Pool

出水 丈志\*      小松 誠\*      出口 達也\*  
Takeshi Izumi      Makoto Komatsu      Tatsuya Deguchi

## 〔概 要〕

原子力発電プラントの使用済み燃料プールでは、水質を高純度に維持するためにイオン交換樹脂により浄化し、設備構成材料の腐食を抑制している。プール水中には水の放射線分解により発生した過酸化水素が存在しており、これがイオン交換樹脂の酸化分解を促進し、樹脂寿命を短くする原因となっている。

そこで筆者らは、過酸化水素を分解する技術としてPd担持樹脂の適用を検討した。イオン交換樹脂にPd担持樹脂をオーバーレイし、プール水中に含まれる過酸化水素を分解することで、イオン交換樹脂の酸化劣化を抑制することが可能であることをコールド試験で確認した。この成果に基づき、2014年1月から3月まで、日本原子力発電株式会社敦賀第二発電所の使用済み燃料プール水を用いたホット試験を実施した。これらの試験結果について報告する。

## 1. はじめに

原子力発電プラントでは、原子炉から取出した使用済み核燃料を使用済み燃料プールで保管しており、プール水の水質を高純度に維持するためにイオン交換樹脂により浄化し設備構成材料の腐食を抑制している。

プール水には、水の放射線分解により発生した過酸化水素が存在しており、この過酸化水素でイオン交換樹脂（カチオン樹脂）が酸化し徐々に劣化する。この劣化により、脱塩装置の差圧上昇や処理水中への硫酸リークの事象が経時的に発生し、イオン交換樹脂の交換が必要となる。

PWR原子力発電プラントの使用済み燃料プールの脱塩装置で使用されている一般的なカチオン樹脂は、架橋度が8%の強酸性ゲル型カチオン樹脂で、酸化劣化を受けやすいため、酸化劣化を受けにくい化学的安定性に優れた高架橋度ゲル型カチオン樹脂を採用するプラントも出てきている<sup>1)~5)</sup>。

しかし、高架橋度カチオン樹脂でも過酸化水素による酸化劣化を防止することができず、1年程度で交換されて放射性廃棄物になってしまうことから、その発生量を低減すべく、筆者らは過酸化

水素を分解する技術として、Pd担持イオン交換樹脂の適用を検討した。

水中に存在する過酸化水素は、Pdなどの白金族の金属の触媒作用により容易に分解される。Pd担持イオン交換樹脂を従来使用されているイオン交換樹脂層にオーバーレイし、事前に過酸化水素を分解できれば、イオン交換樹脂層の過酸化水素による酸化劣化を軽減することができる。その結果、樹脂寿命の延長が期待され、廃棄物発生量を低減することが可能である。本報では、コールド試験で実施した、Pd担持樹脂による過酸化水素分解挙動の基礎試験と、敦賀第二発電所のPWR発電プラントの使用済み燃料プール水を用いたホット試験結果について報告する。

## 2. 試験方法

## 2.1. 供試樹脂

Pd担持樹脂はランクセス社が開発・製造したもので、強塩基性ゲル型アニオン樹脂にPdを担持したものである。Pd担持樹脂の主な物性を表1に示す。

\* (株)荏原製作所 風水力機械カンパニー 国内事業統括 原子力水処理事業統括部 原子力技術室

表1 Pd担持樹脂の基本物性

項目	単位	測定例
外観	-	黒色球
均一係数	-	1.1
平均粒径	mm	0.64
見掛け密度	g/L	680
比重	g/mL	1.07
含水率	%	64

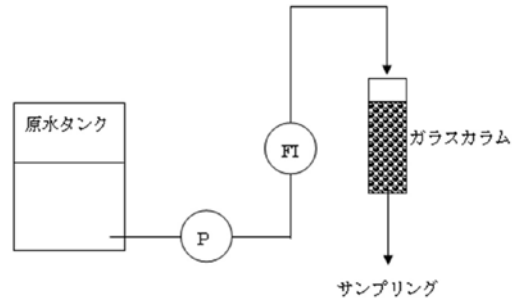


図1 過酸化水素分解試験装置の概略フロー

P: ポンプ, FI: 流量計

2.2. コールド試験

Pd担持樹脂による過酸化水素分解特性について、コールド試験で以下の評価を行った。

- ① 基本性能確認試験
- ② 長期通水試験
- ③ TOC溶出挙動評価試験

2.2.1. 基本性能確認試験

Pd担持樹脂の過酸化水素分解性能を評価する試験を行った。試験装置の概略フローを図1に示す。通水試験条件は以下の通りである。パラメータとしては、樹脂層高、線流速(流量)とした。被処理水については、純水とほう酸水の2条件を設定した。

- ① カラム内径: 16mmΦ
- ② 樹脂層高: 10~200mm
- ③ 通水線流速: 10~60m/h
- ④ 通水流量: 33~200mL/min
- ⑤ 被処理水温度: 室温
- ⑥ 被処理水環境: 純水, ほう酸2800mg/Lの2条件
- ⑦ 被処理水過酸化水素濃度: 5mg/L

通水開始30分後、カラム入口・出口水をサンプリングし、過酸化水素濃度を測定した。測定はヨウ素反応法を用いて実施した。

2.2.2. 長期通水試験

Pd担持樹脂による過酸化水素分解性能の安定性を評価するために、図1と同じフローの試験装置を用いた長期通水試験を実施した。通水試験条件は以下の通りである。

- ① カラム内径: 16mmΦ
- ② 樹脂層高: 10mm
- ③ 通水線流速: 1m/h

- ④ 通水流量: 3.5mL/min
- ⑤ 被処理水温度: 室温
- ⑥ 被処理水過酸化水素濃度: 2mg/L

樹脂を充填したカラムに被処理水を連続で通水し、概ね1回/日でカラム入口・出口水をサンプリングし、過酸化水素濃度を測定した。測定はヨウ素反応法を用いて実施した。通水線流速は実際の脱塩塔より小さいが、触媒反応の性能安定性を見るためには問題ない。

2.2.3. TOC溶出挙動評価試験

Pd担持樹脂による樹脂劣化の改善効果を確認するために、図2に示す閉ループ試験装置を用いて試験を実施した。閉ループ試験装置では、装置内部の水をカラムに循環通水し、イオン交換樹脂から溶出するTOCを系内で濃縮させる。そのTOC濃度を経時的に測定することによりイオン交換樹脂からのTOC溶出速度を評価することが出来るものである。ほう酸濃度2800mg/Lの被処理水を循環通水し、定期的に系統水中の濃度が5mg/Lになるよう過酸化水素を添加して、TOC濃度の変化を調べた。この装置でカラム出口水を定期的に採取し、島津製作所製のShimadzuTOC-VにてTOC濃度の測定を行った。主な試験条件は以下の通りである。

- ① カラム内径: 25mmΦ
- ② Pd担持樹脂層高: 50mm
- ③ 従来樹脂層高: 150mm
- ④ 通水線流速: 40m/h
- ⑤ 被処理水温度: 40℃
- ⑥ 過酸化水素濃度: 5mg/L

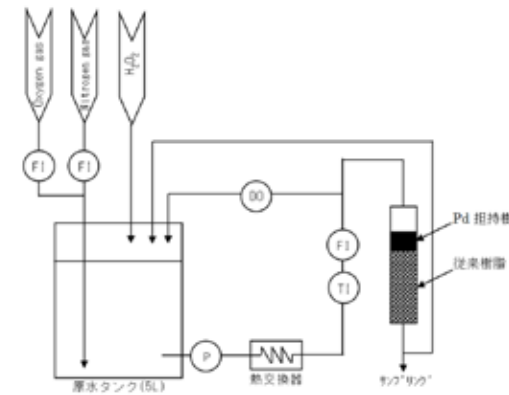


図2 閉ループ循環装置の概略フロー

P: ポンプ, DO: 溶存酸素計, FI: 流量計, TI: 温度計

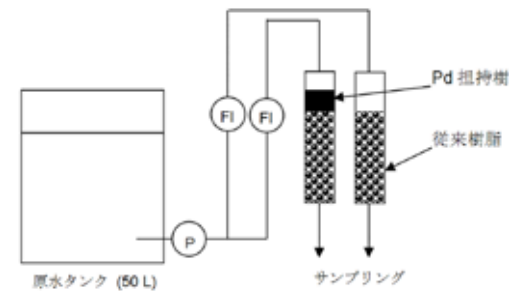


図3 調査装置概要

P: ポンプ, FI: 流量計

2.3. ホット試験

図3に示す装置を用い、実使用済み燃料プール水を用いたカラム試験を実施した。

カラムは2系列準備し、1系列は従来樹脂のみとし、もう一系列には従来樹脂の表層にPd担持樹脂をオーバーレイした。主な通水条件およびその他条件は以下の通り。

- ① 樹脂カラム: 内径10mm×直胴部180mm
- ② 供試樹脂: カラムA: 過酸化水素分解樹脂+従来樹脂 (銘柄は現行樹脂相当品)  
カラムB: 従来樹脂 (銘柄は現行樹脂相当品)
- ③ 通水流量: 50mL/(min・column)
- ④ 通水LV: 40m/h (実機相当)
- ⑤ 従来樹脂層高: 130mm
- ⑥ Pd樹脂層高: 50mm

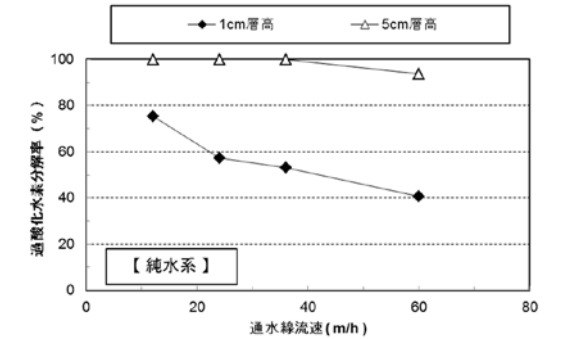


図4 純水系での過酸化水素分解挙動

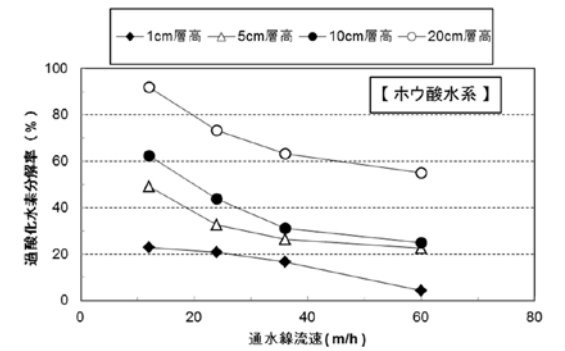


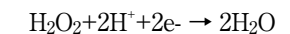
図5 ほう酸水系での過酸化水素分解挙動

3. 試験結果

3.1. コールド試験結果

3.1.1. 基本性能確認試験

5mg/Lの過酸化水素濃度を原水条件として、Pd担持樹脂層高と通水LVをパラメータにしてカラム入口、出口水の過酸化水素濃度を測定し、過酸化水素分解率を求めた。純水条件とほう酸水条件での通水試験結果を図4、5にそれぞれ示す。図4からわかるように、純水系では5mg/Lの過酸化水素に対して通水LV=36m/hでも5cmの層高で95%以上の分解が可能であるのに対して、図5のほう酸水系では26%程度の分解率であった。ほう酸を含む原水のpHは酸性である。過酸化水素の分解にはいくつかの半反応がある。酸性条件下で分解率が低下することから、水素イオンが関与する反応である以下の半反応が律速と推定される。



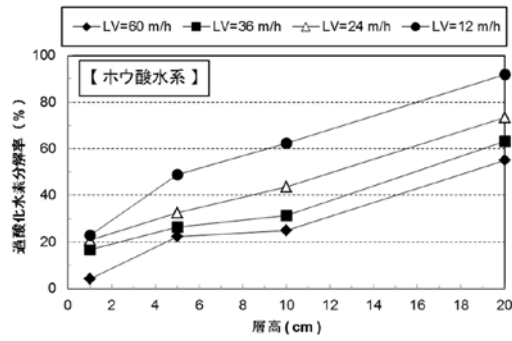


図6 層高依存性 (ホウ酸水系)

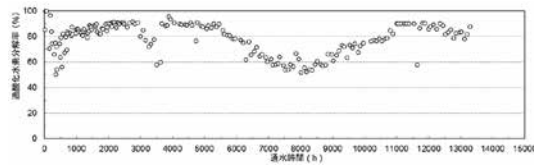


図7 長期通水試験結果

また、ホウ酸水条件で、層高をパラメータとした結果を図6に示す。20cmの層高で使用済み燃料プールの脱塩装置の運転条件に近いLV=36m/h条件では60%強の分解率であり、ほぼ全てを分解するには30cm以上の層高が必要であるといえる。

3.1.2. 長期通水試験

Pd担持樹脂をカラムに充填し（1cm層高）過酸化水素濃度 2 mg/Lに調整した原水を連続で通水 (LV=1m/h) した。長期通水試験の結果を図7に示す。

これまでに実施した1年以上の通水では、50～90%の分解率が得られている。通水時間8000時間前後で分解率が低下しているが、これは冬季のため環境温度が6℃程度に低下したためであり、その後、気温の上昇と共に分解率も上昇している。

8500時間通水した時点で原水の温度を15℃と20℃に上昇させて試験を行ったところ、80%以上の分解率が得られた。性能を十分に発揮するには原水温度が15℃以上であることが望ましい。もしくは樹脂層高を増やすことで除去率を上げることが望ましいと評価できる。

3.1.3. TOC 溶出挙動評価試験

TOC溶出挙動評価試験結果を図8に示す。Pd担

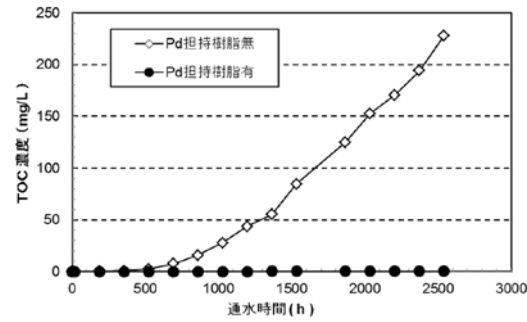


図8 閉ループ試験結果

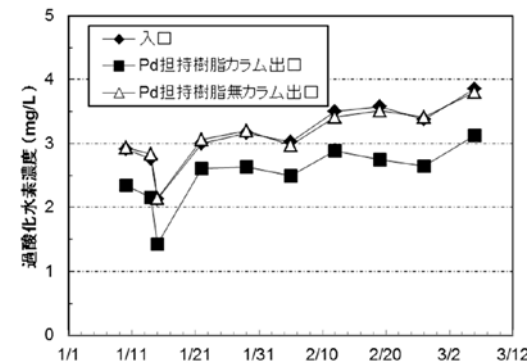


図9 過酸化水素濃度測定結果

持樹脂がない場合、500時間経過後から上昇傾向を示し、2500時間後には200mg/Lを超えた。一方、Pd担持樹脂がある場合、TOC濃度の上昇は小さく、2500時間経過後でも1mg/L未満であった。この結果より、Pd担持樹脂により過酸化水素が分解され、イオン交換樹脂の酸化劣化が抑止されていると評価できる。

3.2. ホット試験

カラム入口および各カラム出口の過酸化水素濃度および、TOC濃度の測定結果を図9, 10にそれぞれ示す。また、過酸化水素の分解率を図11に示す。

図9, 11からわかるように、Pd担持樹脂なしでは過酸化水素が入口とほぼ同じであるのに対して、Pd担持樹脂ありでは過酸化水素が分解されているのがわかる。分解率の平均値は、Pd担持樹脂ありは20%、Pd担持樹脂なしは1%であった。

一方、図10からわかるように、約2ヶ月間の通水結果からは、カラム出口のTOC濃度に両者の差は認められなかった。

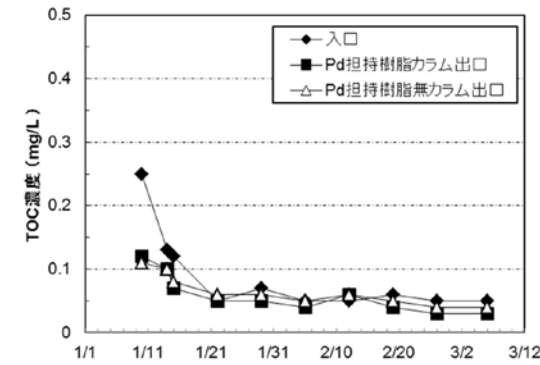


図10 TOC 濃度測定結果

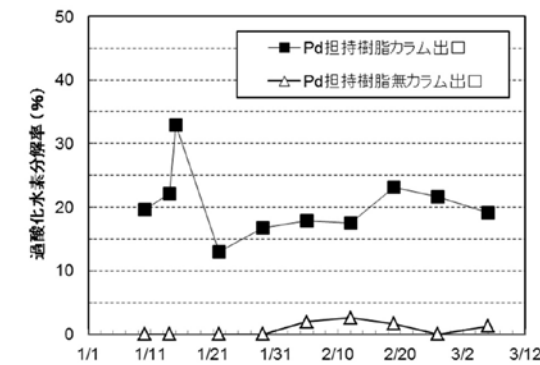


図11 過酸化水素分解率の経時変化

4. 考 察

ホット試験では、今回の通水条件（実機相当 LV = 40m/h, Pd担持樹脂層高 = 5 cm）でのPd担持樹脂による過酸化水素分解率は、20%程度であることが確認された。また、コールド試験においても、同通水条件のホウ酸水系試験では過酸化水素分解率は20%程度であり、ホット試験と同等の結果が得られた。

また、コールドでの長期通水試験の結果、Pd担持樹脂の純水条件における過酸化水素分解能力は1年以上安定であることから、期待していた触媒効果が持続することを確認できた。

更に、コールド試験の結果から、過酸化水素の分解効果がイオン交換樹脂からのTOC溶出量の低減に有効であることが確認された。ホウ酸水条件閉ループ循環試験で、Pd担持樹脂なしではTOC濃度が上昇したのに対して、Pd担持樹脂ありの場合

表2 Pd担持樹脂適用効果

Pd担持樹脂層高	過酸化水素分解率	樹脂寿命延長効果
5 cm	20%	1.25倍 (= 1 ÷ 0.8)
10cm	37%	1.6倍 (= 1 ÷ 0.63)
20cm	60%	2.5倍 (= 1 ÷ 0.4)
30cm	75%	4倍 (= 1 ÷ 0.25)

はTOC濃度の上昇はほとんど認められなかった。また、閉ループ循環試験で、数1000時間以上の通水後でも、循環系統水中のPd濃度は分析下限値未満 (<0.1 μg/L) であり、Pd担持樹脂の長期使用への耐久性が確認できた。この結果からリーク量を計算すると、10cm (100L) 装荷した場合の1年間のPdリーク量は3.5mg未満であると評価できる。

ここで、Pd担持樹脂層高をパラメータとして、従来樹脂の寿命延長効果を評価する。樹脂寿命が過酸化水素の負荷量に一次比例すると仮定すると、表2のように評価できる。

Pd担持樹脂の装荷量を増やし、層高を増やせば従来樹脂の寿命は延長し、廃棄物発生量を低減できると評価された。

5. ま と め

PWR使用済み燃料プール浄化系に使用されているイオン交換樹脂の寿命延長と、Pd担持樹脂の適用性評価を目的に、コールドおよびホット試験を実施した。その結果をまとめると以下の通りである。

- ① コールドおよびホット試験の結果、PWR使用済み燃料プール水中に含まれる過酸化水素をPd担持樹脂で分解可能であることが確認された。また、過酸化水素の分解が、従来樹脂からのTOC溶出量の低減に有効であることを確認した。
- ② Pd担持樹脂を使用することで、ホット試験では2ヶ月間、コールド試験では約1.5年間、安定的に過酸化水素を分解可能であることを確認した。
- ③ Pd担持樹脂を実機に適用することで、従来樹脂の寿命延長と廃棄物発生量の低減に寄与できると評価できた。

本成果を踏まえ、Pd担持樹脂の実機脱塩装置への導入に向けて、検討を行っている。

最後に、本研究に関し、敦賀第二発電所のホット試験を共同で実施した日本原子力発電株式会社の関係各位、およびPd担持樹脂を開発・製造しサンプルを提供していただいたランクセス株式会社の関係各位に、深く感謝の意を表す。

尚、本技術は、2014年10月26～31日に札幌で開催された国際会議、NPC2014 (Nuclear Plant Chemistry 2014) においてポスター発表を行い、ポスター発表技術賞を受賞した。

参 考 文 献

- 1) J.R. STAHLBUSH., et al, "A decomposition mechanism for cation exchange resins" Reactive Polymers, V.13, p.233-240 (1990).
- 2) T.IZUMI, et al, "Evaluation of high cross-linkage gel type cation exchange resins for condensate polishers", Proc. 59th Int'l Water Conf., Pittsburgh, PA, USA, IWC-98-47, (1998).
- 3) J.R. STAHLBUSH., et al, "Prediction and

identification of leachables from cation exchange resins" Proc. 48th Int'l Water Conf., Pittsburgh, PA, USA, IWC-87-10, p.67-74 (1987).

- 4) T.IZUMI, et al, "The Reduction of Feedwater Iron by Using Absorption Characteristics of Cation Exchange Resins for BWR Condensate Demineralizers", Proc. Symposium on Water Chemistry and Corrosion in NPPs in Asia 2009, Nagoya, JAPAN, P-22, (2009).
- 5) T.IZUMI., et al, "Improvement of Leaching Characteristics of TOC from Condensate Demineralizers", 5th International Conference on Ion Exchange (ICIE 2010), Melbourne, Australia, 1P-28, (2010).

(注) 日本原子力学会主催 NPC2014SAPPORO で発表した内容を和文に翻訳して転載した。

# 緊急時放射線モニタリングシステムの開発 Development of Emergency Radiation Monitoring System

福本圭佑\* 皆川智哉\* 前川修\*  
Keisuke Fukumoto Tomoya Minagawa Osamu Maekawa

〔概要〕

原子力災害が発生した場合の緊急時放射線モニタリング用として、任意の場所に容易に運搬、設置が可能な簡易モニタリングポストと走行しながら放射線測定が可能な走行モニタリング車両、そしてそれらの測定データを集約し、地図上に測定ポイント、測定値を表示できるデータ収集サーバから構成するシステムを開発した。データ収集サーバにて実現する表示画面、機能は、インターネット網を介して、任意の場所における放射線レベル、推移、分布などのモニタリングデータの公開が可能である。

## 1. はじめに

2011年3月に東日本大震災に起因する原子力災害が発生し、放射性物質が発電所周辺に飛散する事態となった。このような事態を受け、今後の原子力発電所再稼働に向け、発電所周辺の放射線モニタリングデータに基づいた放射性物質拡散状況の早急な把握、安全対策の強化が必要となる。

緊急時放射線モニタリングシステムは、走行モニタリング車両1台、簡易モニタリングポスト5台を1セットとし、それら全てからデータセンターに設置するデータ収集サーバにデータを集約し、インターネット経由で監視が行えるものである。

走行モニタリング車両および簡易モニタリングポストは、地表高さ1mの位置での線量当量率を測定することで任意の場所での放射性物質堆積状況、空間線量率の推移を監視することを目的とする。また、原子力災害発生時の放射性物質の飛散方向、距離が特定できないことから、本測定器は可搬性、機動性に富んだ構造とした。

データ収集サーバは、災害時にも継続して、確実にデータ収集が行えるよう地上回線と衛星回線の両方を使用し、サーバを冗長化構成とすることで堅牢なシステム構成とした。

## 2. システムの概要

緊急時モニタリングシステムの構成図を図1に示す。

走行モニタリング車両および簡易モニタリングポストから測定値に加え、GPSで取得した位置データと共に地上回線 (FOMA網) または衛星回線を利用してデータ収集サーバに10分周期でデータ送信を行う。地上回線が使用可能な場合は、地上回線を使用してデータ送信するが、使用不可能な場合は、自動的に衛星回線に切替えて、データ送信を行う。

データ収集サーバは、収集したデータを元に各拠点ごとのリアルタイム測定値、地図上での測定ポイント、測定推移、測定値に基づいた分布マップなどの表示を行う。

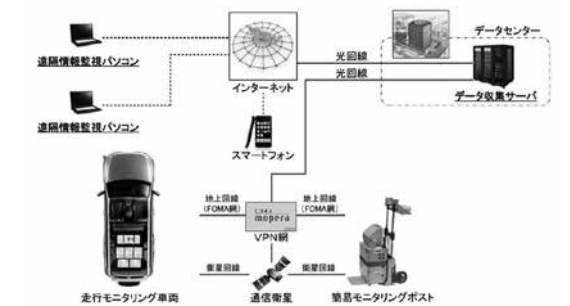


図1 システム構成図

\* 富士電機(株) 放射線システム部技術第三課

### 3. 走行モニタリング車両

#### 3.1. 仕様

走行モニタリング車両の外観を写真1に、主な仕様を表1に示す。

低レンジ測定用として、NaI (TI) シンチレーション検出器、高レンジ測定用として半導体検出器を使用し、GPS、Webカメラを車両に搭載することで測定値と共に位置情報、周辺画像の送信が行える。



写真1 走行モニタリング車両

表1 走行モニタリング車両の仕様

No.	項目	仕様
1	測定線種	γ線
2	測定範囲	BG~100[mSv/h]
3	検出器	低:NaI(TI)シンチレーション 高:Si半導体 (自動切替)
4	測定エネルギー範囲	50[keV]~3[MeV]
5	相対基準誤差	±20%(0.1μSv/h~100mSv/h)
6	エネルギー補正	デジタルG(E)関数荷重演算
7	伝送回線	FOMAおよびワイドスターII
8	伝送データ	測定値、位置情報、画像

#### 3.2. 特徴

##### (1) 測定性能

低レンジ用としてφ2×2インチのNaI (TI) シンチレーション検出器を、高レンジ用としてSi半導体検出器を使用することでBG~100 [mSv/h] までの広範囲な線量率領域での測定を可能している。また、NaI (TI) シンチレーション検出器には、エネルギー補償関数、温度補償関数を搭載し、核種、環境条件に依存しない正確な線量率測定を実現している。

検出器架台は、車両前方席に2名乗車した状態で地表から1mの位置が検出器中心となり、±2.5cmの範囲で容易に調整が行える構造である。

##### (2) 分解、組立および搬送の容易性

検出器架台を写真2に、車両への取付状態を写真3に示す。通常時、車両は乗用車として使用し、緊急事態発生時に保管してある測定器を持ち出し、車両に容易に搭載、固定できるよう1パーツ約18kgの2分割構成とし、組立、車両への固定は工具を使用せずに行える構造である。

##### (3) 車載パソコン

車両助手席に搭載したパソコンを介して、検出部にて測定したデータを、GPSにて取得した位置情報と共に地上回線または衛星回線を使用して、データ収集サーバへ伝送する(10分周期)。

地上回線を使用した通信を優先し、地上回線が接続できない場合には、衛星回線を使用して伝送を行う。

地上回線、衛星回線共に伝送が行えない場合には、未送信データを車載パソコンに保存しておき、通信可能となった際に未送信分データを含めて伝送を行う。

また、車載パソコンに保存したデータは、USB



写真2 検出器架台

写真3 車両固定状態



写真4 車載パソコン

などの外部媒体を使用して取出すことも可能である。

車載パソコンは、測定現場での取扱を考慮し、ハードディスクレス、耐衝撃性、タッチパネル式のパソコンを採用した(写真4)。

車載パソコンでは、自車の測定制御が行えるとともに、測定値のリアルタイム表示、マップ表示、トレンド表示、移動軌跡表示、分布表示によるモニタリングが行える。

#### 4. 簡易モニタリングポスト

##### 4.1. 仕様

簡易モニタリングポストの外観を写真5に、主な仕様を表2に示す。

低レンジ測定用として、CsI (TI) シンチレーション検出器、高レンジ測定用として、半導体検出器を使用し、GPSにより取得した位置情報と共に測定値の送信が行える。

また、Liイオンバッテリーを実装しており、外部給電なしで連続5日間の測定が可能である。

##### 4.2. 特徴

##### (1) 測定性能

検出器には、低レンジ測定用としてCsI (TI) シンチレーション検出器、高レンジ測定用としてSi半導体検出器を搭載した携帯型環境測定用線量計を採用している(写真6)。本検出器は、エネルギー補償関数、温度補償関数を搭載し、核種、環境条件に依存しない正確な線量率測定を実現している。

また、検出器を台車取っ手部に取付、地表高さ1mの位置に調整された構造である。

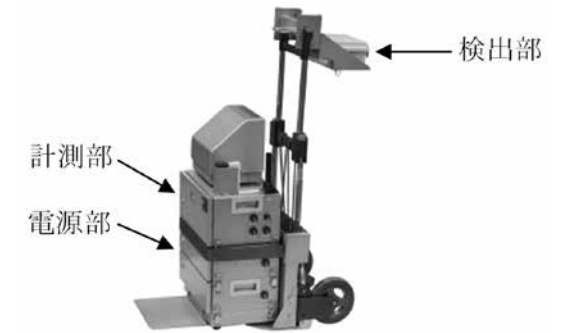


写真5 簡易モニタリングポスト

表2 簡易モニタリングポストの仕様

No.	項目	仕様
1	測定線種	γ線
2	測定範囲	BG~100[mSv/h]
3	検出器	低:CsI(TI)シンチレーション 高:Si半導体 (自動切替)
4	測定エネルギー範囲	50[keV]~3[MeV]
5	相対基準誤差	±20%(0.1μSv/h~100mSv/h)
6	エネルギー補正	デジタルG(E)関数荷重演算
7	伝送回線	FOMAおよびワイドスターII
8	伝送データ	測定値、位置情報、画像
9	バッテリー	Liイオン二次電池 (AC100V給電も可)



写真6 携帯型環境測定用線量計

##### (2) 分解、組立および搬送の容易性

緊急事態が発生した場合に、走行モニタリング車両に積載し、測定ポイントまで搬送できるよう折

畳式台車を採用している。車両積載時は、台車と検出部、計測部、電源部（1ユニット当たり20kg以下）を容易に分離できるため、少人数での搬送、積載作業が可能で、台車を折り畳んで収納することで積載した際の車両占有スペースを最小限としている。

また、台車の取っ手部に検出部を取り付けて測定する構造とすることで、設置場所への台車を使用した搬送および設置を簡易なものとしている。

台車、検出部、計測部、電源部との分離、結合は、工具を使用しないで作業が行える構造としている。

(3) データ伝送

検出部にて測定したデータを、GPSにて取得した位置情報と共に地上回線または衛星回線を使用して、データ収集サーバへ伝送する（10分周期）。

地上回線を使用した通信を優先し、地上回線が接続できない場合には、衛星回線を使用して伝送を行う。

地上回線、衛星回線共に伝送が行えない場合には、未送信データを自身に保存しておき、通信可能となった際に未送信分データを含めて伝送を行う。

また、自身に保存したデータをSDカードに保存しているため、オフラインでのデータ取出しも可能である。

5. データ収集サーバ

5.1. 仕様

データ収集サーバのシステム構成図を図2に示す。

データ収集サーバは、データ処理を行う冗長化されたデータ処理サーバと外部プロバイダとの連携用の外部接続・プロキシサーバから構成し、測定器からデータを受信するVPN網、データ公開を行うためのインターネット網に接続されている。

各拠点の測定器から10分周期で受信したデータを元に、「リアルタイムマップ」「履歴マップ」「分布マップ」「測定値一覧」「トレンドグラフ」「警報一覧」「定数設定」などの機能を実現している。

5.2. 特徴

(1) リアルタイムマップ

リアルタイムマップ画面を図3に示す。

各拠点ごとの走行モニタリング車両および簡易

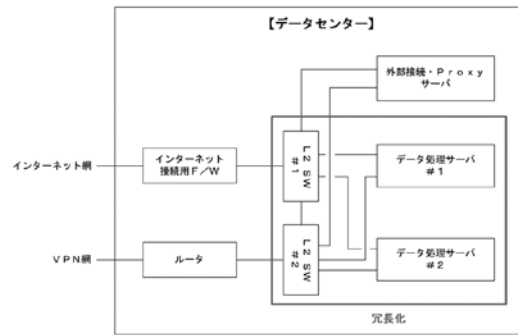


図2 データ収集サーバシステム構成図



図3 リアルタイムマップ画面



図4 履歴マップ画面

モニタリングポストの測定値を地図上に表示するとともに位置情報、測定値を一覧表示する。

また、測定値が警報設定値を超えている場合には、設定されている閾値レベルに応じて、地図上の測定ポイントを示すアイコンを色替え表示する。

(2) 履歴マップ

履歴マップ画面を図4に示す。

指定した日時の測定ポイント、測定値を地図上に表示するとともに位置情報、測定値を一覧表示

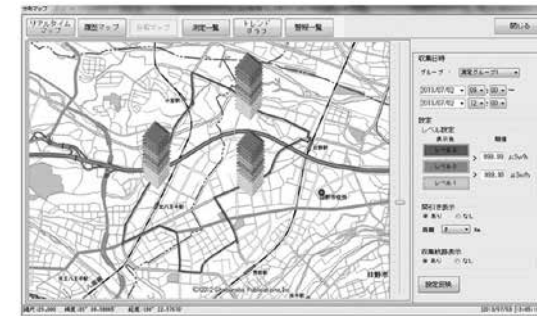


図5 分布マップ画面

する。

また、「次データ」「前データ」ボタンにより履歴遷移の操作、視認が容易に行える。

(3) 分布マップ

分布マップ画面を図5に示す。各測定器の測定値を設定されている閾値レベルに応じたレベル分けし、時系列に地図上に縦方向に重ねて表示することでそのポイントにおける測定値レベルの変化、分布が一目でわかるように表示している。

また、走行モニタリング車両については、移動軌跡を地図上に表示することで測定ルートを目で視認できるようにしている。

(4) トレンドグラフ

トレンドグラフ画面を図6に示す。

各測定器による1日分のトレンドグラフを上部グラフに、7日分のトレンドグラフを下部グラフに表示する。

また、下部グラフにて範囲ドラッグにより範囲選択することで、上部グラフに当該範囲のトレンドグラフを表示する。

縦軸（線量率）については、スケール変更が可能で、ログ/リニアの切替もボタン操作1つで行える。

上部グラフ上の任意の日時にカーソルを合わせることでその時点の測定値を右部一覧表に表示する。

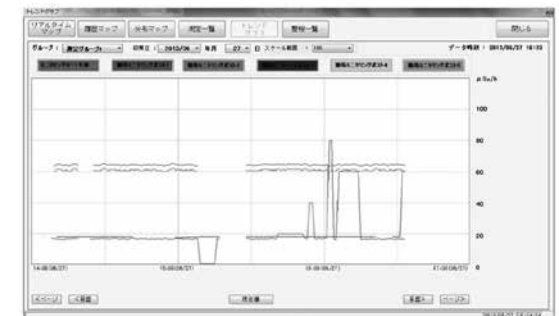


図6 トレンドグラフ画面

また、一覧表のチェックボックス選択によりグラフ上に表示するデータを容易に選択できる。

(5) オフライン計測データ反映機能

本システムは、各測定器と地上回線および衛星回線の両方で通信でき、両回線とも通信が途絶えた場合に備え、回線復旧時に未送信データを受信する機能も有している。

更には各測定器から外部媒体にて取り出したデータをインターネット上に接続されているパソコン端末からアップロードする機能も有しており、災害などに回線が使用できなくなった場合でも複数の手段でデータの収集が可能なシステムとなっている。

5. あとがき

以上紹介してきたように東日本大震災に起因する原子力災害発生を受け、測定器によるデータを主とした堅牢で継続的にデータを収集し、分析できるシステムの需要が高まっている。

当社では、本稿で紹介した緊急時モニタリングシステムに加え、原子力発電所を所有する電力会社、原子力発電所が立地する各自治体にも環境監視システムを納入しており、これらのシステムとの連携強化を図ることで、原子力エネルギーの更なる信頼性向上に貢献する所存である。

# サウジアラビアMEMSプロジェクト ～海外ソリューションビジネスへの取り組み～

## MEMS Project in Saudi Arabia; Global Solution Business Initiative

矢部 典雄\*      白石 直樹\*  
Norio Yabe      Naoki Shiraiishi

### 〔概要〕

経産省からの「インフラ・システム輸出促進調査等委託事業（グローバル市場におけるスマートコミュニティなどの事業可能性調査）」による、環境配慮型工業団地構築に向けたフィジビリティスタディを経る中、富士通グループを中心とした富士電機、メタウォーター、環境計測、みずほ銀行、大学、自治体といった各分野のエキスパートとのコンソーシアム体制を構築し、共同提案活動の成果として、MODONが管轄する主要3工業団地における一般/排出源大気、用水・排水の環境監視システム（MEMS：MODON Environment Management System）を受注した。

本稿は、MEMSの背景、プロジェクト遂行時の経験・ノウハウ、システム概要、および今後の展開について紹介する。尚、本稿は雑誌富士通®に掲載した内容に基づき一部加筆したものである。

### 1. ま え が き

サウジアラビア国内の約20ヵ所の工業団地を管轄する商工省直轄の政府機関であるMODON (Saudi Industrial Property Authority; アラビア語で都市の意)の役割は、これら工業団地の整備に留まらず、産業の振興、地域格差の解消、また近年特に同国において課題となっている若年層の雇用創出など、国内経済上重要な役割も担っている。

MODON前総裁であるDr. Tawfig Alrabiahは2011年8月、2015年までに現在数の約2倍となる新規工業団地40施設建設計画により、新たに800の事業を創出することを発表した。工業団地内の製造分野は多岐にわたり、建築資材、化学品、石油化学製品、食品、金属加工、機械、家具、製紙、繊維など多量の企業が入居している。現在国内外を問わず、これら既設工業団地内には4,000工場、30万人超が働いている。MODONは、年々事業規模も拡大しており、今後も経済成長を背景とした積極的な事業展開が行われる<sup>1)</sup>。事業拡大による工業団地内環境汚染に問題意識を持つMODONはPME (The Presidency of Meteorology &

Environment) に準拠した環境基準をベースに独自の環境施策を模索している。

本稿では富士通がMODONと共に取り組んでいるMEMSプロジェクト受注に至った経緯から今後の展開までを紹介する。

### 2. 受注までの背景

2010年に当時の新人が作ったサウジ大使経由MODON総裁とのコネクションを元に、1年半に渡る経産省委託事業を通じた種々の提案、アプローチを実施してきた<sup>2)</sup>。

2011年に入りMODONが興味を持った工業団地の環境監視・改善をより現実的に把握し、具体的な提案を進めるため、それぞれ排出源大気・電力、用水排水、一般大気のエキスパートである、富士電機株式会社、メタウォーター株式会社、環境計測株式会社を富士通コンソーシアムへ招き、富士通の孫会社である富士通アラビアと共にサウジアラビアにおける環境改善提案の議論を開始した。

2012年に入ると当時サウジアラビア東部州プリンスから環境改善命令が出ていたダンマン第二工業団地において、それぞれの環境分野で状況把握

に必須な測定対象物質、手法を元に、MODONと協議の上選定した場所・工場においてフィジビリティスタディを行った。その結果、一般大気は沿道付近や特定の設備が設置されている場所・工場において対象物質がやや高く検出された。また排出源大気は工場プロセス・マネジメントに依存し、その高低が分かれ、水も下水処理場のプロセス・マネジメントが行き届いてない可能性を示唆した。

2012年2月、サウジアラビア-日本両政府傘下の元、二回目の覚書をMODONと富士通アラビアとの間で締結<sup>3)</sup>した。同年4月、環境全体に対する指南や制度設計の方向性助言のため有識者の先生方、自治体、みずほコーポレート銀行（現みずほ銀行）にもコンソーシアムに参画いただいた。同年11月にはサウジアラビア東海岸ダンマン市における環境シンポジウムを開催、度重なる提案の結果、MEMSシステムプロジェクトの受注に至った<sup>4)</sup>。(図1参照)

### 3. 遂行時のノウハウ

第2章で述べた経緯の中、筆者はその途中より本プロジェクトへ参加した。しかしプロジェクトマネジメントの観点でプロジェクト受注後に知っていたのでは遅いであろう下記経験・ノウハウを、肌身を通して学び、プロジェクト遂行に活用する

ことができた。

#### (1) 国を知る

海外でのビジネスは、はじめに文化の違いを知る必要がある。「サウダイゼーション」の言葉で知られる通りサウジアラビア人の特性や季節労働者（フィリピン、インド、バングラディッシュなど）の特性を知ること、またラマダン（断食）やハッジ（巡礼）期間、およびそれに付随する休暇、休暇前後の仕事の仕方、6月から8月の夏季期間（45℃超）における屋外作業に対する配慮などが挙げられる。

#### (2) 人を知る

当社における一般的なシステム構築体制と異なるコンソーシアム形式でのプロジェクト遂行において、国や会社の文化の相違やステークホルダーのパーソナリティを把握した上で、より一層のヒト対ヒトの信頼関係が重要になる。

特に筆者においては、大きく二点言及できる。一点目は前述したダンマン第二のサウジアラビアでの合宿形式の現状把握により、各担当者の性格や人間性を知り、当社と各社の違いを把握し、互いのサポートをシェアすることで、信頼関係構築につながることができたことである。

二点目は実行フェーズ開始前からサウジアラビ

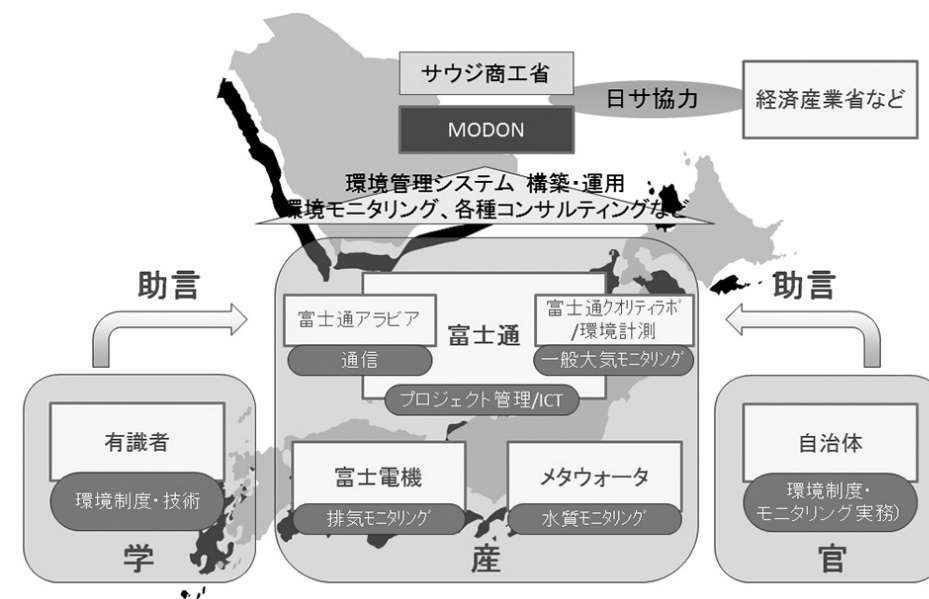


図1 実施体制

\* 富士通(株) 科学システムソリューション統括部

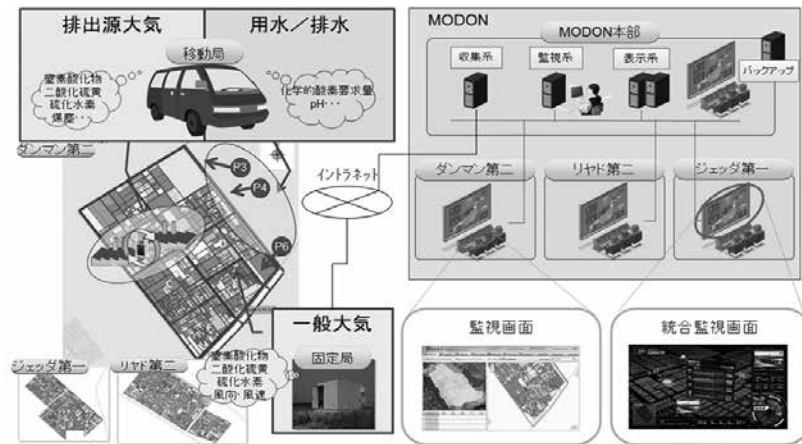


図2 MEMSシステム概要

ア長期滞在を繰返し、MODON、富士通アラビア問わずステークホルダの人間性はさることながら、彼らの人生における仕事の在り方、公私の考え方を理解し、互いの文化を相互共有させることで信頼関係を構築できたことである。更にサウジアラビアでは私的な関係の太さがビジネス繋がる可能性を大いに秘めていることも認識できた。

(3) 型を知る

国や人など文化の違いを知ることでプロジェクト遂行方法の違いも経験できた。その中で取えて2点列挙する。一点目は、デザイン的にビジュアル(見栄え)が重要であること。二点目は何事も、3A1S「あせらず・あわてず・あきらめず・しんじすぎない」の精神で遂行していくことである。

前者については、ソフトウェアの一機能として、ドバイのブルジュ・ハリファなど建造物の派手で独特な外観をヒントに近未来的なグラフィカルインタフェース(GUI)を提案し、顧客キーマンから賞賛を得たことが大きい。後者は、名言・格言としても有名で中東ビジネスにおける合言葉を元に独自のノウハウを濃縮したものであり、この考え方がプロジェクト獲得の一役を担ったと考えている。

4. MEMS サービス概要

本章では、MEMSサービス概要を説明する。対象とする工業団地は3大工業団地であるリヤド第二/ダンマン第二/ジェッダ第一である。各工業

団地内に固定局を設置し、一般大気の連続測定を実施する。また、入居工場/企業の排出源大気と用水・排水の非連続測定を実施する。測定データはMODON本部のサーバ群にネットワーク経由で収集・管理し、後述のパッケージソフトウェアを使用し、統合的な環境監視を行う。(図2参照)

4.1. 測定対象・方法・手法

下記3点に分類される。

(1) 一般大気 (Ambient Air)

各工業団地に1局ずつ固定局を建設し、それぞれ4台のセンサにて窒素酸化物、二酸化硫黄、硫化水素、および気象データ(風向、風速)を、ネットワークカメラより周囲の静止画を一定間隔でリアルタイムに収集し、MODON本部のサーバへ送信・格納する。

(2) 排出源大気 (Emission Air)

各工業団地に移動局(大型バン)を1台ずつ配備し、搭載した排出源大気測定用3つのハンディ型センサを用いて、現地運用担当者が複数対象工場の排出源エリア(煙突、排出口など)でマニュアル測定する。測定対象物質は一般大気同様、窒素酸化物、二酸化硫黄、硫化水素に加え、一酸化炭素および粉塵を測定し、オンデマンドでMODON本部のサーバへアップロードする。

(3) 工場用水・排水

移動局にて現地運用担当者が対象上下水処理場や複数工場の排水設備にて採水し、各団地に在る研究施設などに配備した2つのセンサを用いてオ

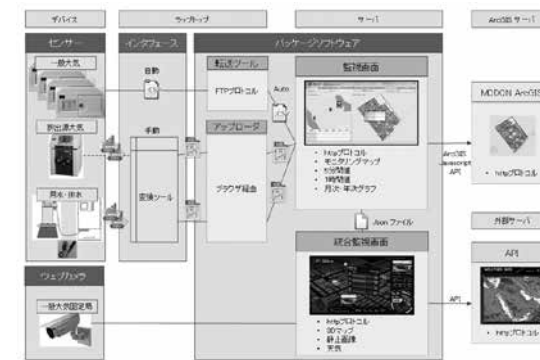


図3 GREENAGES概要



図4 GREENAGES画面(上/下)

ンデマンドで測定する。測定対象データは化学的酸素要求量、濁度、pH、溶存酸素量、蒸発残留物、伝導度などで、マニュアルでMODON本部のサーバへアップロードする。

4.2. パッケージソフトウェア: GREENAGES

一般大気/排出源大気/用水・排水のデータをリアルタイム/オンデマンドで監視でき、また工業団地内の状況をネットワークカメラ映像(動画・静止画)で表示、測定データを3Dグラフィカルで表現する環境データ統合監視用ソフトウェア

(1) 監視機能

一般大気、排出源大気、および用水・排水の測定データをWebブラウザ経由で現地運用担当者が常時監視する機能である。その特性より一般大気データはリアルタイムに、排出源大気データおよび用水・排水データはオンデマンドに表示可能である。また、工業団地内の地図上に測定データを表示するマップモード(最新値)、測定時刻でソートしたテーブル形式で表示する監視モードなどをもち、運用担当者のニーズに則して複数の表示モードを切替え可能である(図4上参照)。

(2) 統合監視機能

工場団地内の測定状況を、3Dグラフ、ネットワークカメラ映像、および3D化した団地地図に表示することで、より瞬間的に、視覚的に状況把握を可能とした大型画面表示向けシステムである。本機能は運用担当者のみならず、統合監視センタ(コマンド・センタ)向け大画面として、また工業団地を訪問する来賓向けのデモンストレーション用画面として幅広く活用可能な機能である。(図4下参照)

(3) レポート出力機能

MODON本部のサーバに蓄積した測定データをもとに、各種レポート(帳票)出力機能を備えている。現地運用担当者が運用計画に従い目的に応じた帳票(月次報告レポート、年次報告レポート、工場汚染ランク表など)を作成・印刷することが可能である。

4.3. システム構成

各センサを配備した3工業団地とMODON本部の間をMODONイントラネットにより接続する。本部には各用途別に5台のサーバ(富士通PRIMERGY RX300S7)、GREENAGES統合モニタリング表示機能用に1台のワークステーション(富士通CELSIUS W520)および60インチ大型ディスプレイ装置を導入した。3工業団地にはMODON本部と同様にGREENAGES用に1台のワークステーション(富士通CELSIUS W520)および60インチ大型ディスプレイ装置をそれぞれ導入した。

4.4. サービス構成

2013年12月より2014年11月まで以下の運用・保守サービスを展開している。特に(1)に関してMODONの期待度は高い。

(1) コンサルテーション

日本の知見、規制や後述のデータ解析結果などを元に環境規制導入に向けたロードマップ策定、技術的な改善ポイントの提案、必要に応じたキャッシュフロー分析などを行う。

(2) モニタリング

対象3団地において、日々排出源大気、用水・排水のモニタリングを行い、測定データをMEMSシステムへ登録する。

(3) データ解析

MEMSシステムに蓄積されたデータを元にデータ解析・考察をまとめる。

(4) キャパシティビルディング

MODON担当者による日本国内の環境施設訪問や日本人エキスパートのサウジアラビア現地におけるワークショップ、シンポジウムを通して、日本の知見・ノウハウの啓蒙活動を行う。

(5) メンテナンス

センサ、ITインフラ機器、パッケージソフトウェアの定期メンテナンス、1回/年の大規模メンテナンスを行う。

5. MEMS 構築・運用にあたり

プロジェクト開始(2013年3月)から現在までのMEMS構築・運用経過について紹介する。コンソーシアム主要メンバーは2013年8月から12月までサウジアラビア長期滞在し、現場にて本システム構築・運用立ち上げを実施し、現在も定期的に現地へ出向き運用業務を行っている。

5.1. プロジェクト計画承認

2013年4月、MODON本部にて実務担当者によるKick Off会議が開催された。本会議では富士通側からプロジェクト計画(スコープ、マイルストーン、作業分担・体制、会議体など)についてPID(Project Initiation Document)を提出し、MODONから承認された。

5.2. 設計工程承認

2013年5月、MODON本部にてMEMSシステム全体の設計内容を確認する会議が開催された。当該会議において富士通側が導入する全ての環境測定機器(センサ)、ITインフラ機器(サーバなど)、ソフトウェアに関する諸元/仕様について、SDCR

(Spec Definition Completion Report)を提出し、MODONから承認された。本承認を受けて各機器、ソフトウェアは本格的に製造を開始することとなった。

5.3. センサの設置

イスラム諸国のラマダン(断食月)の渦中、センサの製造・出荷(輸出)が行われた。また、気温45℃超の厳しい条件のもと、各工業団地に設置する固定局の設置工事が行われ、富士通担当者も毎日現場立会いを実施し、作業状況をチェック・指示した結果、2013年11月末までに3工業団地の固定局へのセンサ設置が完了した。

5.4. ITインフラ導入状況

センサと同様、ラマダンの中、ITインフラ機器はFTS(Fujitsu Technology Solutions)から輸出され、富士通アラビア技術者とともにITシステム構築を行い、2013年11月までにMODON本部と3工業団地はMEMSシステムとしてネットワーク接続され、本格運用に至った。

5.5. GREENAGES 開発・導入

GREENAGES開発チームは日本国内の試験環境を用いたソフトウェア結合試験を行い、ソフトウェア品質・性能に関する確認を行った後、2013年10月から12月まで開発メンバーが順次現地入りし、MODON実機環境(センサ、ITインフラ機器)を用いた最終システム試験を完了させた。

5.6. MEMS 運用

当初計画通り2013年12月からMEMSが運用を開始した。運用体制は現地SDM(Service Delivery Manager)1名のもと各都市2名(計6名)の専門技術者(フィリピン人で構成)、更に日本側コンソーシアム技術者が後方支援を行う体制で進めている。運用業務はMODONから承認された運用保守計画に従い、一般大気/排出大気/排水のモニタリングを行いデータ蓄積していく一方、その結果は月次運用レポートの形でMODONへ毎月提出している。運用から半年を経た現在(本稿執筆2014年6月時点)、各都市の測定データにおいて汚染傾向/特徴が現れはじめ、今後の環境施策・対策について検討を開始している。また2014年6月に現地でMODON環境シンポジウム、およびMEMSワークショップを行い、広く関係者内外へ

のMEMSプロジェクト中間報告を実施した。これから現地は最も過酷な酷暑シーズン、更にラマダン月を迎えようとしている。その厳しい環境の中、現地技術者と共に大気/水のデータ測定作業、センサ機器のメンテナンス作業などを安全かつ確実に進めて行きたい。

6. むすび

現在、現地と日本側メンバーで連携しながらMODON工業団地内の環境監視運用・保守業務を展開している。前述したプロジェクト遂行時の精神・ノウハウを生かし引き続き安定したMEMS運用を行っていききたい。そして更なるノウハウを蓄積するとともに、運用フェーズにおけるデータ、日本の環境(公害)克服ノウハウを基にしたコンサルテーションを通してエコシティ・スマートシティの構築に臨みたい。(図5参照)

最後に本プロジェクト遂行において多大なご助力をいただいた、経産省商務情報政策局情報経済課、鈴木基之先生(東京大学名誉教授)、藤江幸一先生(横浜国立大学教授)、福士謙介先生(東京大学教授)、川崎市環境局、および総合企画局にこの場を借りて厚く御礼申し上げる。

参考文献

- 1) (平成23年度 経済産業省 インフラ・システム 輸出促進調査等委託事業(グローバル市場におけるスマートコミュニティ等の事業可能性調査) サウジアラビア工業団地スマート化 市場分析書
- 2) Wedge 2013年6月号「工業団地の環境改善 サウジを射止めた富士通のDNA」
- 3) 富士通プレスリリース(2012年2月2日) <http://pr.fujitsu.com/jp/news/2012/02/2-1.html>
- 4) 富士通プレスリリース(2013年3月11日) <http://pr.fujitsu.com/jp/news/2013/03/11.html>
- 5) 雑誌富士通2014-1月号「特集 テクニカルコンピュティング」 <http://jp.fujitsu.com/about/magazine/backnumber/vol65-1.html>

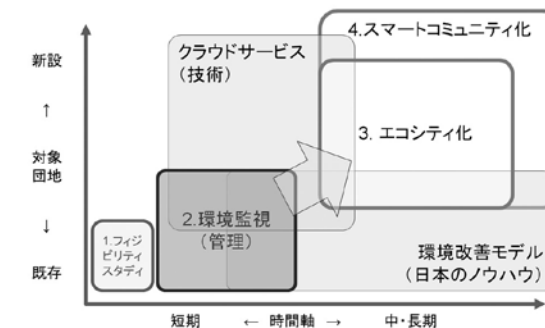


図5 工業団地向けスマート化のビジョン

# 福島中間貯蔵施設における放射線モニタリング可視化へ向けたLEDシンチレーションファイバー検出器の開発 Development of a Scintillation Fiber Detector Coupled with LED for Visible Radiation Monitoring at the Interim Storage Facility in Fukushima

中尾 徳晶\*  
Noriaki Nakao

## 〔概要〕

福島第一原子力発電所の事故に伴い生じた汚染土壌などの除染廃棄物の保管のために中間貯蔵施設の建設が計画されている。この施設におけるリアルタイム放射線リスクコミュニケーションツールとして、LEDシンチレーションファイバー検出器を開発した。空間線量率の位置分布を測定できるプラスチックシンチレーションファイバー検出器にLEDラインテープを並べ、位置情報を伝達することでその場所の空間線量率を色別表示し、リアルタイムに放射線量の見える化を実現した。本検出器は、設置エリアの放射線量分布を見落としなく連続的かつリアルタイムに可視化できるため、中間貯蔵施設における施設建屋や敷地の境界、処理施設内のベルトコンベアなどの周辺、高濃度廃棄物貯蔵施設内などに連続的に設置することで、その場所の放射線量の変化を視覚的に監視可能であり、迅速な安全対策および作業員や周辺住民とのリアルタイムリスクコミュニケーションが可能となる。

## 1. 緒言

2011年3月の東日本大震災に伴う福島第一原子力発電所の事故で放出された放射性物質により、福島県内外の広範囲の地域が汚染した。それに対する除染活動で発生した枝葉や土壌などの除染廃棄物は、一時的に仮置き場に集積・保管されている(図1)。福島県内で発生した廃棄物に関しては、仮置き場から双葉町と大熊町に建設が計画されている中間貯蔵施設に移送される。ここでは汚染土壌などが搬入され、汚染可燃物は焼却により減容

化される計画である。約30年間管理・貯蔵された後、福島県外に建設予定されている最終処分場へ搬入されることとなっている(図1) 1)。

この中間貯蔵施設の建設予定地は現在帰還困難区域に指定されている。平成25年12月に環境省より発表された施設内の設備配置図を図2に示す2)。

この地域は空間放射線量率が数十 $\mu\text{Sv/h}$ の高線量地域が多くを占めており、建設作業員の被ばくリスクを低く抑えて安全に建設工事を進めるために事前の除染作業が必要とされる。この広範囲における大規模な除染、建設および運営においては、

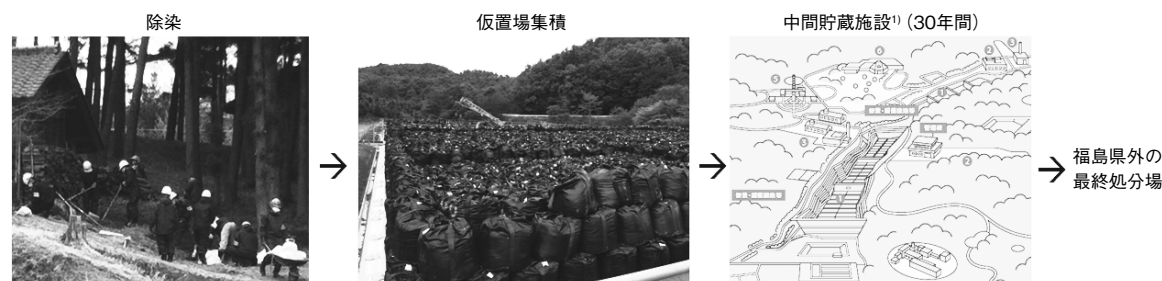


図1 福島県内の除染廃棄物の保管の流れ

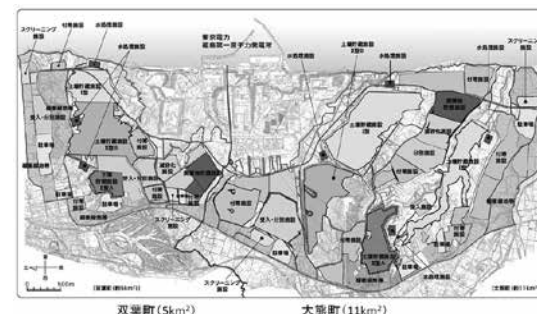


図2 中間貯蔵施設の候補地内における設備配置図2)

空間放射線量や表面汚染分布を常に把握し、放射線による被ばくや放射性物質による汚染を可能な限り低く抑える必要がある。そのため、放射線計測により得られる放射線分布の可視化による作業員とのリアルタイムリスクコミュニケーションや大量データ処理の自動化、高速化などが重要な課題の一つとなる。

ここでは、中間貯蔵施設の建設に向けた様々な放射線計測の検討のうち、LEDシンチレーションファイバー検出器の開発に関して紹介する。この検出器を中間貯蔵施設の管理区域や建物の内部、敷地境界などに設置することにより、作業員の被曝リスク低減や周辺住民とのリスクコミュニケーションの円滑化などに寄与することを目指す。

## 2. 放射線量可視化技術の開発

### 2.1. 原理

プラスチックシンチレータは放射線が入射して反応すると蛍光を発する。これを光ファイバーの素材としたものが図3に示したプラスチックシンチレーションファイバーであり、放射線検出器の材料として広く利用されている。図4に示すように、蛍光による光は全反射によりファイバー内を伝播し、その両端に受光部(光電子増倍管)を設置することでその蛍光を検出することができる3)。

10m程度の距離があると発光点から端に達するまでに両端で数ナノ秒から数十ナノ秒の時間差が生じるため、その時間差を測定することで放射線が入射した位置を確定することができる。

図5に本検出器のシステム構成を示す。ファイバー両端に到達した光は光電子増倍管により電気

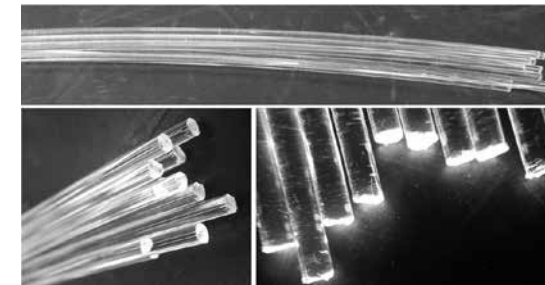


図3 プラスチックシンチレーションファイバー

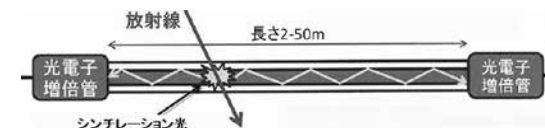


図4 プラスチックシンチレーションファイバー内での放射線による蛍光の発生と光の伝播2)

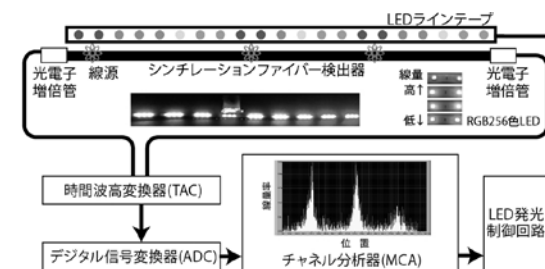


図5 システム構成

信号として増幅される。この2つの信号は時間波高変換器(TAC)により、信号到着時間差を入射位置情報とした波高信号に変換される。次に、デジタル信号変換器(ADC)で波高信号が位置情報のデジタル信号に変換され、次のチャンネル分析器(MCA)により位置に相当するチャンネルごとの信号数が計数されて行く。図5に示すようにこの計数の位置分布が表示されるが、検出効率などの補正係数により放射線量分布に変換される。さらに、時間当たりの線量率を算出するため、放射線量の高低により蓄積時間を可変にできるように、それを決定するパラメータである時定数を数秒から数十秒に設定可能とした。

放射線量の色表示にはLEDラインテープを用い、シンチレーションファイバー検出器に並べて設置した。MCAで得られた計数分布を当該位置のLEDの発光色に対応させるため、LED発光制御回路およ

\*清水建設(株) 技術研究所 原子力技術センター 放射線技術グループ



図6 本検出器の全景 (10m 仕様)

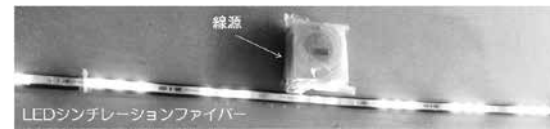


図7 線源によるLED色表示

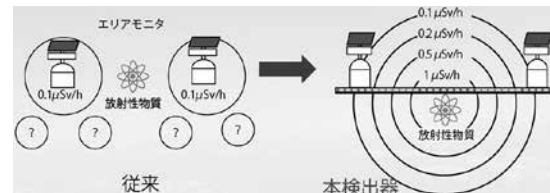


図8 従来品と本検出器の線源位置特定の違い

びその制御ソフトを開発し、その場所の放射線量に応じたリアルタイムでのLEDの色表示を実現した。図6に10m仕様のLEDシンチレーションファイバー検出器を示す。RGB256色表示のLEDを用いているが、放射線量の高い方から赤、オレンジ、黄、緑の4色で高低を表現している。図7に示すように、線源を置いた付近が赤く光っており、放射線量の高低に従った色表示がされていることがわかる。

## 2.2. 特徴と拡張性

本検出器は広範囲を一度に測定が可能であり、本体の標準的な長さは10mであるが、1ユニットでは最長50mまで本技術の適用が可能である。また、データを遠隔で監視かつ記録を行なう事も可能なため、複数のユニットを連続配置することで長距離にわたって設置し、ネットワークを介した総合的な放射線量の監視と異常の検知を行なうことが可能である。

本検出器は屈曲可能であるため、曲がった経路や複雑な形状に沿った設置と測定が可能である。また、耐水性と耐候性に優れているため、屋外での使用が可能である。さらに、数mSv/hまで精度良く測定可能であり、現在の除染活動や中間貯蔵施設予定地においても十分可能な測定レンジを有している。

## 2.3. 従来品との比較

従来のシンチレーションファイバー検出器は、

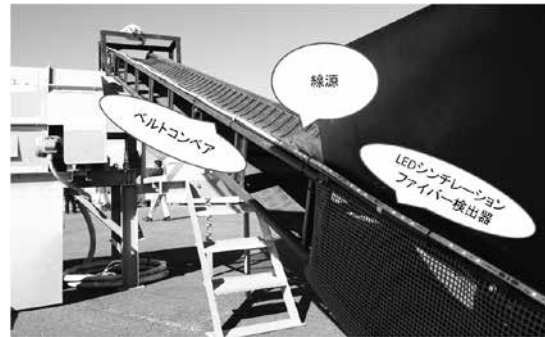
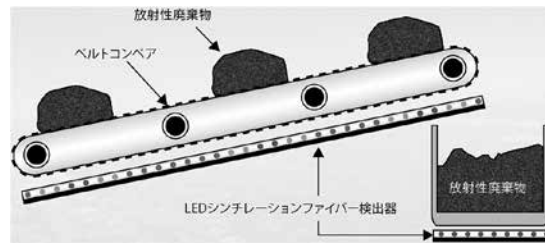


図9 処理施設内のベルトコンベアなどでの適用イメージ

設置エリアの放射線量を線のかつ連続的に一括測定し、PC画面上にその結果表示をするが、高線量を感知しても当該部位の特定に専門的な知識と時間を要するという課題があった。また、図8に示すようにエリアモニターなどの線量計を用いる測定方法もあるが、測定場所が点でありそのエリアが非常に限定的で、連続的な測定は現実的でない。一方、本検出器は、設置エリアの放射線量分布を見落としなく連続のかつリアルタイムに可視化できる。

## 3. 適用事例

### 3.1. 処理施設内のベルトコンベア

廃棄物は、選別や破碎、運搬などを行なう処理施設内において、ベルトコンベアなどで自動移送される場合がある。様々な放射能濃度の廃棄物が移動し、放射線量分布も時々刻々と変化する場合、図9に示すようにベルトコンベアなどの移動装置に沿った本検出器の設置により、作業時やメンテナンス時に作業者が設備付近の放射線量を視覚的に把握し、安全対策を講じることが可能になる。

### 3.2. 貯蔵施設

貯蔵施設内では、高濃度の放射能を含む土壌や焼却灰などが容器に収納され保管される。図10に示すように、本検出器を施設内の廃棄物周辺や壁



図10 貯蔵施設などにおける放射性物質漏洩の検知イメージ



図11 施設や敷地の境界での適用イメージ

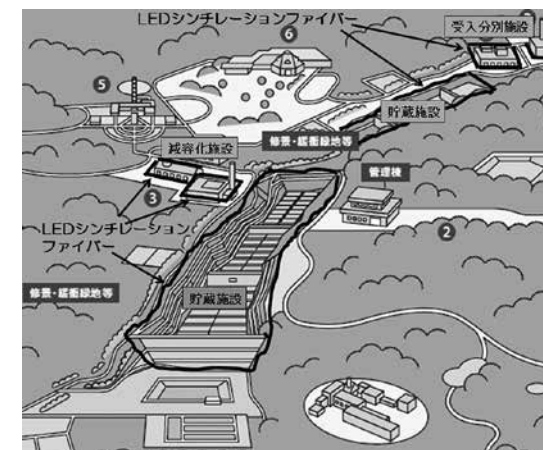


図12 中間貯蔵施設における本検出器の配置イメージ (背景図<sup>1)</sup>)

沿いに設置することで、貯蔵容器から放射性物質の漏洩などが発生した場合、放射線量の上昇による近傍のLED表示の変化から、迅速な発見と位置の特定を行なうことが可能となる。

## 3.3. 施設や敷地の境界

放射線従事者および一般人が受ける放射線被ばく量の許容限度は法律で定められている。それを超えないために、放射線施設では管理区域境界や敷地境界において、一般的に空間放射線量率の監視や個人線量計による管理が行なわれている。図11に示すように本検出器を施設や敷地の境界に連続的に設置することで、施設内外で移動する放射性廃棄物によるその場所の放射線量の変化を視覚的に監視可能であり、作業従事者が常に放射線量を把握することが可能である。図12は、中間貯蔵施設の施設内設備周辺と敷地境界において長距離にわたり本検出器の配置した例を示した。このように敷地境界への設置により、一般人にも空間放射線量が視覚的に把握できることが可能となり周辺住民とのリスクコミュニケーションが円滑となる。

## 4. まとめ

中間貯蔵施設向けの放射線リスクコミュニケーションツールとして、LEDシンチレーションファイバー検出器を開発し、線状に配置したLED群の色別表示で空間放射線量レベルのリアルタイム可視化を実現した。

## 参考文献

- 1) 「中間貯蔵施設の調査について (パンフレット)」, 環境省除染情報サイト (<http://josen.env.go.jp/index.html>)
- 2) 「除染土壌などの中間貯蔵施設について (パンフレット)」, 環境省除染情報サイト
- 3) 「高速炉開発で培われた光ファイバー型測定器」, JAEA ニュース第50号, 独立行政法人日本原子力研究開発機構

# FAPIG の 機 構 (社名 ABC 順)

(平成 27 年 2 月 1 日現在)

## 理 事 会・委 員 会・専 門 部 会・事 務 局

会 長 藤 原 正 洋 富士電機執行役員	理 事 藤 木 靖 久 みずほ銀行常務執行役員
副 会 長 渡 辺 達 也 川崎重工業執行役員	〃 三 浦 宣 明 清水建設執行役員
〃 水 井 聡 双日専務執行役員	
	監 事 島 田 昌 寛 みずほ銀行営業第十部次長
理 事 喜 田 明 裕 荏原製作所執行役員	
〃 山 田 昌 彦 富士通 TC ソリューション事業本部長	事 務 局 長 片 岡 昇
〃 佐 藤 哲 哉 古河電気工業取締役・執行役員専務	
〃 大 田 彰 則 古河機械金属取締役	

### 高温ガス炉プロジェクト部会

- ◎ 大 橋 一 孝 (富 士 電 機)
- 吉 澤 顕 (双 日)
- 岡 本 太 志 (富 士 電 機)
- 毛 利 智 聡 (川 崎 重 工 業)
- 斎 藤 正 直 (清 水 建 設)
- オ プ ザ ー バ ー
- 大 橋 準 平 (原 燃 工)

### 廃止措置・廃棄物処理プロジェクト部会

- ◎ 武 仲 五 月 (川 崎 重 工 業)
- 村 上 知 行 (富 士 電 機)
- 石 山 祐 二 (荏 原 製 作 所)
- 前 園 伸 也 (富 士 電 機)
- 三 澤 真 (富 士 通)
- 鳥 居 和 敬 (清 水 建 設)
- 沢 本 雅 弘 (双 日)

### 品質保証部会

- ◎ 高 橋 正 昭 (富 士 電 機)
- 斉 藤 利 二 (川 崎 重 工 業)
- 江 川 裕 二 (荏 原 製 作 所)
- 梅 津 博 幸 (富 士 電 機)
- 新 田 和 彦 ( 〃 )
- 鈴 木 啓 司 ( 〃 )
- 鈴 木 信 太 郎 (富 士 通)
- 長 浜 哲 志 (清 水 建 設)
- 吉 澤 顕 (双 日)

### 事 務 局

局 長 片 岡 昇

## FAPIG委員会および専門部会

(◎は委員長または部会長, ○は副委員長または副部会長)

### 企画委員会

- ◎ 尾 崎 博 (富 士 電 機)
- 荒 井 正 幸 (荏 原 製 作 所)
- 山 田 裕 之 (富 士 電 機)
- 竹 辺 晴 夫 ( 〃 )
- 國 澤 有 通 (富 士 通)
- 西 本 貞 矢 (古 河 電 気 工 業)
- 井 上 一 夫 (古 河 機 械 金 属)
- 松 並 清 隆 (川 崎 重 工 業)
- 飯 田 浩 一 (み ず ほ 銀 行)
- 姫 野 洋 一 (清 水 建 設)
- 西 尾 弘 毅 (双 日)
- 片 岡 昇 (事 務 局)
- オ プ ザ ー バ ー
- 来 山 正 昭 (原 燃 工)

### 広報委員会

- ◎ 片 岡 昇 (事 務 局)
- 倉 島 昇 (荏 原 製 作 所)
- 竹 辺 晴 夫 (富 士 電 機)
- 伊 藤 貴 代 ( 〃 )
- 才 川 美 紀 ( 〃 )
- 笹 野 貢 (富 士 通)
- 柴 原 資 典 (古 河 機 械 金 属)
- 佐 藤 康 士 (川 崎 重 工 業)
- 新 保 孝 之 (み ず ほ 銀 行)
- 門 脇 秀 宜 (清 水 建 設)
- 和 田 真 奈 (双 日)

### 原子力情勢調査部会

- ◎ 村 野 博 一 (双 日)
- 北 西 啓 一 (富 士 電 機)
- 羽 田 野 泰 彦 (荏 原 製 作 所)
- 三 澤 真 (富 士 通)
- 佐 藤 康 士 (川 崎 重 工 業)
- 新 田 康 男 (清 水 建 設)
- 齋 藤 正 直 (清 水 建 設)
- 山 崎 博 巨 (双 日)

Takeshi Izumi, Makoto Komatsu, Tatsuya Deguchi

**Development of Decomposition Method of Hydrogen Peroxide in Spent Fuel Pool**

FAPIG No. 189 pp.3 ~ 8 (2015)

From the viewpoint of the minimizing the corrosion of the spent fuel rods and structural material in the spent fuel pool, the ion exchange resins are generally used as one of purification system in order to keep water quality clean.

Hydrogen peroxide generated by the radiolysis of water exists in the pool water and it accelerates the oxidation decomposition of the ion exchange resins and finally, it becomes the cause to shorten the resin life.

To solve this problem, the application of Pd doped resins which can decompose hydrogen peroxide catalytically at the surface has been considered. It was confirmed by the cold test that Pd doped resins overlaid on the ion exchange resins decomposed hydrogen peroxide contained in the pool water and inhibited the oxidative degradation of the ion exchange resins.

Based on the results, hot examination tests by using actual pool water in Tsuruga-2 were carried out from Jan. 2014 to Mar. 2014. We report the results of these tests.

Keisuke Fukumoto, Tomoya Minagawa, Osamu Maekawa

**Development of Emergency Radiation Monitoring System**

FAPIG No. 189 pp.9 ~ 13 (2015)

As an emergency radiation monitoring system in case of nuclear disaster, an innovative system which consists of a Portable Monitoring Post, Monitoring Vehicle and server located in the data center was developed. Portable Monitoring Post can easily be delivered and installed anywhere. The Monitoring Vehicle is capable of measuring radiation while driving. And, the server summarizes the measured data, and displays the measuring points and measured values on the map. The server's display screen and functions make it possible to publish the monitoring data such as dose level, trend and distribution map through the Internet network.

**KEYWORDS** : emergency radiation monitoring system, nuclear disaster, portable monitoring post, monitoring vehicle, easily delivered, measuring radiation while driving, measuring points and measured values on the map, dose level, distribution map

禁無断転載

FAPIG No.189

平成27年 2月20日印刷

平成26年度 第2号

平成27年 2月27日発行 (非売品)

発行所 第一原子力産業グループ事務局  
〒100-8691 東京都千代田区内幸町2丁目1-1  
双日(株)内  
電話 (03) 6871-3082

ホームページ: <http://www.fapig.jp/>

編集兼発行人 片岡 昇

印刷所 ミズノブリテック(株)  
〒104-0042 東京都中央区入船2-9-2  
電話 (03) 5566-6677(代)

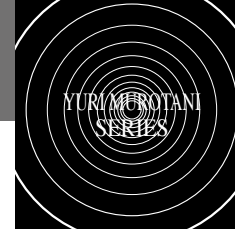
Norio Yabe, Naoki Shiraishi

**MEMS Project in Saudi Arabia; Global Solution Business Initiative**

FAPIG No. 189 pp.14 ~ 19 (2015)

The MODON Environment Management System (MEMS) project started with a feasibility study on eco-industrial cities as part of the "Fiscal Year 2011 Project Commissioned to Research and Promote Infrastructure-related System Export (Business Feasibility Study on Smart Communities in the Global Market)" sponsored by the Japanese Ministry of Economy, Trade and Industry (METI). This led to Fujitsu being awarded a contract to construct ambient air, emission air, and ambient, industrial water, and wastewater systems in three major industrial cities covered by MODON, which means "cities" in Arabic. This construction was carried out in collaboration with Fuji Electric Co., Ltd., METAWATER Co., Ltd., Eco Analysis Corporation, Mizuho Bank, Ltd., and experts in many different fields from academia and Kawasaki City.

**KEYWORDS** : Saudi Arabia, eco industrial city, smart communication, environment, monitoring, ambient air, emission air, wastewater



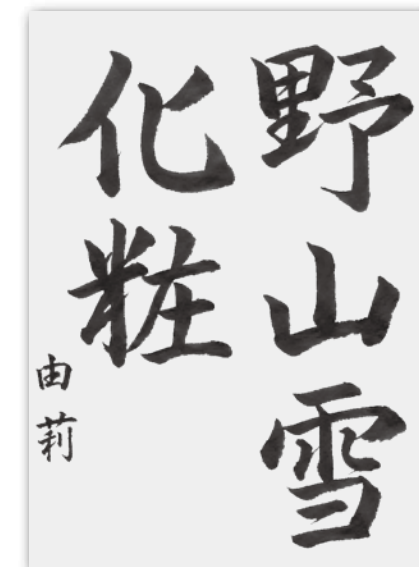
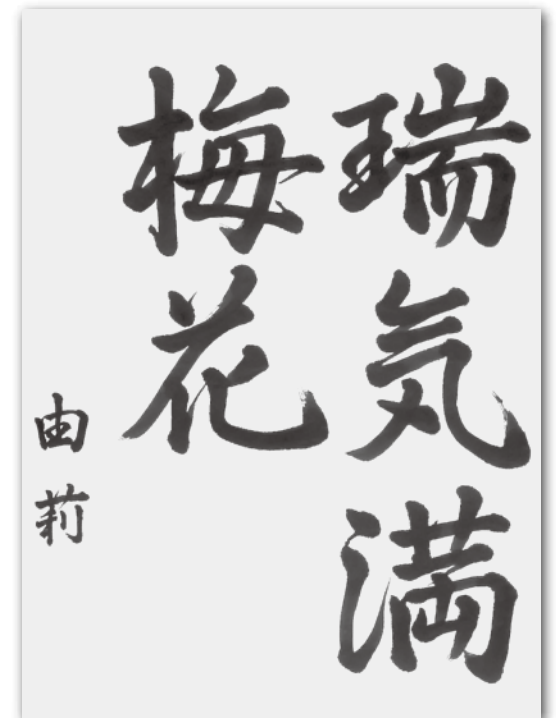
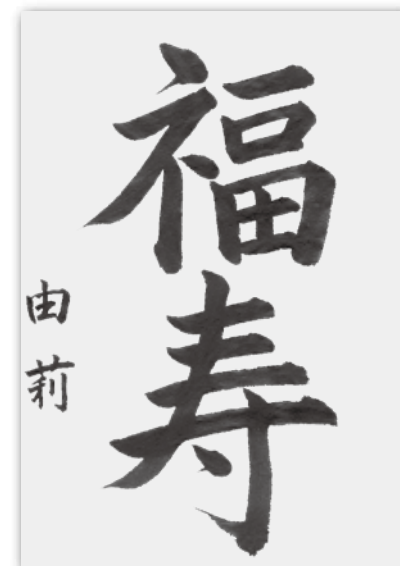
Noriaki Nakao

**Development of a Scintillation Fiber Detector Coupled with LED for Visible Radiation Monitoring at the Interim Storage Facility in Fukushima**  
FAPIG No. 189 pp.20 ~ 23 (2015)

The construction of an interim storage facility is planned in Fukushima for decontaminated waste collected in the decontamination process after the Fukushima Daiichi Nuclear Power Plant accident in 2011. For the real-time radiation-risk communication tool in this facility, a scintillation fiber detector coupled with LED was developed as a real-time visible radiation monitor that displays LED colors at the corresponding locations for the corresponding radiation levels. The detector consists of a plastic scintillation fiber detector as a position-sensitive radiation detector, an LED line tape, and a control unit to link the LED lighting. This detector can visibly monitor the radiation level in real time and in continuous position, and it is useful for visible radiation monitoring at locations such as the site boundary, conveyor belt, and high-level radioactive waste storage for radiation safety and risk communication with radiation workers and residents around the site.

**KEYWORDS** : interim storage facility, decontamination, risk communication, LED, plastic scintillation fiber, position sensitive, site boundary, visible radiation monitoring, radiation safety

～春の訪れ～



## 作者プロフィール

室谷 由莉 Yuri Murotani

富士通株式会社社員。1983年島根県生まれ。

2007年入社、国・大学などの科学技術系研究機関の担当営業を経て、現在は海外ビジネス企画・プリセールスを担当。

## 主な活動履歴

幼少の頃より祖母の書道教室で毛筆・硬筆の指導を受ける。

学生時代には県の書道展・書写コンクールなどで入賞。

現在は趣味のひとつとして作品づくりを続けている。

# 第一原子力産業グループ

The **F**irst **A**tomic **P**ower **I**ndustry **G**roup

株式会社荏原製作所

富士電機株式会社

富士通株式会社

古河機械金属株式会社

古河電気工業株式会社

川崎重工業株式会社

みずほ銀行

清水建設株式会社

双日株式会社